Bilirrubinómetro, su Funcionamiento

En los recién nacidos, la acumulación excesiva de bilirrubina en la sangre puede provocar ictericia neonatal, una afección en la que la piel y los ojos del bebé adquieren un color amarillento. Esto ocurre porque el hígado del recién nacido no está completamente desarrollado para procesar la bilirrubina de manera eficaz. La ictericia debido a la descomposición acelerada de la hemoglobina y a una función hepática inmadura. La baja concentración de albúmina aumenta el riesgo de elevar los niveles de bilirrubina libre (no conjugada), lo que incrementa el riesgo de neurotoxicidad y puede llevar a la encefalopatía aguda por bilirrubina, también conocida como kernicterus.

El kernicterus es la lesión encefálica causada por el depósito de bilirrubina no conjugada en los ganglios basales y los núcleos del tronco encefálico. No existe tratamiento una vez que se desarrolla la encefalopatía ictérica (kernicterus).

En los recién nacidos a término, la ictericia suele comenzar a desarrollarse después de las primeras 24 horas de vida y alcanza su máxima expresión entre el tercer y cuarto día. Se observa como una decoloración amarillenta de la esclerótica cuando los niveles de bilirrubina alcanzan aproximadamente 34–51 µmol/L (2–3 mg/dL) [190], y se manifiesta en la piel a niveles más altos, indicando ictericia.

La bilirrubina es un pigmento amarillo que resulta de la descomposición normal de los glóbulos rojos en el cuerpo. Surge cuando la hemoglobina se descompone y es procesada por el hígado, donde se transforma en bilirrubina conjugada para ser eliminada a través de la bilis y, en última instancia, expulsada del cuerpo en las heces. La bilirrubina desempeña un rol fundamental en el diagnóstico y manejo de la ictericia, dado que niveles altos pueden provocar daño cerebral si no se controlan adecuadamente.



Orígenes y Desarrollo Inicial

La idea de medir la bilirrubina de manera no invasiva comenzó a gestarse en los años 80. Fue en Japón, en 1980, cuando se presentó la bilirrubinometría transcutánea como un método de detección para diagnosticar la ictericia en recién nacidos.

Ese mismo año, el equipo de Yamanouchi dio el primer paso en la investigación con un dispositivo no invasivo para medir la bilirrubina.

Minolta/Air-Shields fue una de las primeras empresas en comercializar un Bilirrubinómetro transcutáneo, conocido como Jaundice Meter, también lanzado en 1980. Poco después, en 1982, se publicó en Chile uno de los estudios clínicos iniciales que evaluó la eficacia de estos dispositivos.

Natus Medical Incorporated se destacó más tarde como pionera en el uso de tecnología LED, no solo para tratar la ictericia neonatal, sino también para desarrollar el primer medidor de bilirrubina transcutáneo basado en esta tecnología.

El Bilirrubinómetro.

El Bilirrubinómetro es una herramienta para la evaluación y posterior tratamiento de la ictericia neonatal. Gracias a su capacidad de medir rápidamente y sin necesidad de procedimientos invasivos los niveles de bilirrubina, ha transformado el cuidado de los recién nacidos



Este aparato emplea la espectrofotometría para analizar los niveles de bilirrubina en los bebés, utilizando dos longitudes de onda de luz específicas:

Azul (450 nm): Absorbida por la bilirrubina, esta longitud de onda permite identificar su concentración en la muestra.

Verde (550 nm): Funciona como referencia, ayudando a compensar la absorción de otras sustancias en la sangre, como la hemoglobina, que también pueden afectar la medición.

Este sistema de doble longitud de onda, conocido como absorbencia diferencial, corrige las interferencias y permite una lectura más precisa de la bilirrubina. La absorbencia diferencial es una técnica espectrofotométrica que mide la diferencia en la cantidad de luz absorbida por la muestra en dos longitudes de onda distintas.

La relación bilirrubina-absorbencia indica cómo la concentración de bilirrubina en una muestra afecta la cantidad de luz absorbida en una longitud de onda específica. Según la ley de Beer-Lambert, la absorbancia **(A)** de una solución está directamente vinculada a la concentración de una sustancia **(C)**, la longitud del trayecto óptico **(L)** y el coeficiente de absorción molar **(ε)** de la sustancia a una longitud de onda determinada.

$$A = \varepsilon \cdot C \cdot L$$

Longitud de onda azul (450 nm): La bilirrubina absorbe luz en esta región del espectro visible, lo que hace que la absorbancia medida a esta longitud de onda sea directamente proporcional a la cantidad de bilirrubina presente en la muestra. Cuanta más bilirrubina haya, mayor será la absorbancia de la luz a 450 nm. Este principio permite que el Bilirrubinómetro calcule la concentración de bilirrubina a partir de la absorbancia obtenida.

Para asegurar la precisión de la medición, se emplea la técnica de absorbancia diferencial. Esta técnica consiste en restar la absorbancia medida a 550 nm (donde sustancias como la hemoglobina también absorben luz) de la absorbancia a 450 nm. De esta manera, se elimina el efecto de interferencias, logrando una medición exacta de los niveles de bilirrubina.

Pasos básicos para su empleo:

1. Encender el dispositivo. Verificar que el Bilirrubinómetro esté completamente cargado o conectado a una fuente de energía y enciéndalo. La mayoría de los modelos se auto calibran al ser activados.

2. Preparar al neonato. El bebé debe estar en una posición cómoda, preferiblemente acostado y relajado. Asegúrese de que la piel en el área de medición esté limpia y seca, evitando zonas con hematomas o pigmentaciones.

3. Seleccionar el área de medición. Generalmente, la frente o el esternón son las áreas recomendadas, ya que ofrecen lecturas más representativas de los niveles de bilirrubina. Evite que la luz ambiental interfiera con el proceso.



4. Colocar el Bilirrubinómetro. Coloque la punta del sensor del dispositivo firmemente sobre la piel del neonato, garantizando un buen contacto. No aplique demasiada presión para evitar molestias en el bebé.

5. Tomar la medición. El dispositivo emitirá un pulso de luz para calcular la luz reflejada. En algunos modelos, se requerirán entre 3 y 5 mediciones en puntos cercanos para obtener un promedio más preciso.

6. Leer los resultados. Los resultados de bilirrubina transcutánea (TCB) aparecerán en la pantalla del dispositivo, normalmente expresados en mg/dL o µmol/L.

7. Registrar los valores. Es fundamental documentar los resultados en el expediente médico del neonato, junto con observaciones adicionales y posibles acciones a seguir.

Componentes principales del circuito de un Bilirrubinómetro.

El circuito de un Bilirrubinómetro transcutáneo consta de varios módulos que trabajan en conjunto para captar la luz reflejada por la piel y procesar esa información, con el fin de medir los niveles de bilirrubina.

1. En primer lugar, el dispositivo utiliza LEDs que emiten luz en dos longitudes de onda específicas: azul (450 nm) y verde (550 nm). La luz se dirige hacia la piel del paciente y, al reflejarse, es captada por fotodiodos, los cuales convierten esa luz en señales eléctricas.

2. Dado que estas señales son muy débiles, se amplifican mediante amplificadores operacionales y se someten a filtros para eliminar posibles interferencias. Posteriormente, un convertidor analógico-digital (ADC) convierte esas señales amplificadas en datos digitales.

3. Un microcontrolador recibe esta información digital y, aplicando algoritmos basados en la ley de Beer-Lambert, determina la concentración de bilirrubina mediante el cálculo de la absorbancia diferencial entre las dos longitudes de onda.

4. Finalmente, el resultado se muestra en una pantalla, indicando la concentración de bilirrubina en mg/dL o µmol/L. El dispositivo se alimenta a través de una batería recargable, lo que garantiza su funcionamiento continuo.

Principio de medición

La bilirrubina transcutánea se usa para detectar la ictericia en los recién nacidos mediante una técnica no invasiva. Un dispositivo con una lámpara de xenón emite luz azul y verde que atraviesa la piel del bebé. La luz se dispersa en el tejido subcutáneo y es absorbida en diferentes grados por la bilirrubina, lo que afecta la cantidad de luz que regresa al sensor del dispositivo. Al medir la diferencia en la absorción de luz azul y verde, el dispositivo puede determinar el nivel de bilirrubina en la piel del bebé, permitiendo una evaluación rápida y precisa de la ictericia.

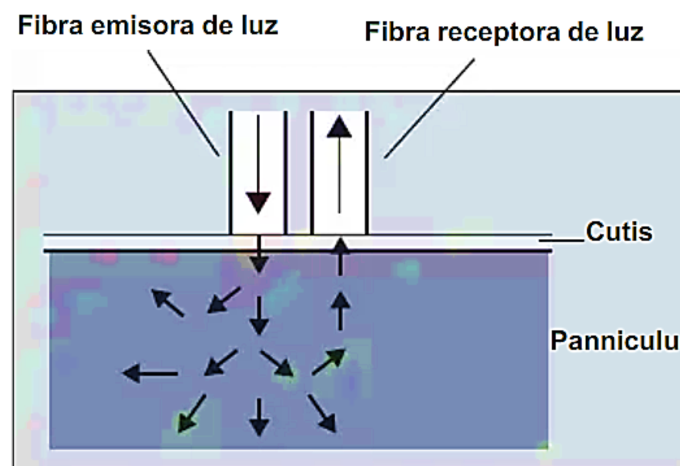
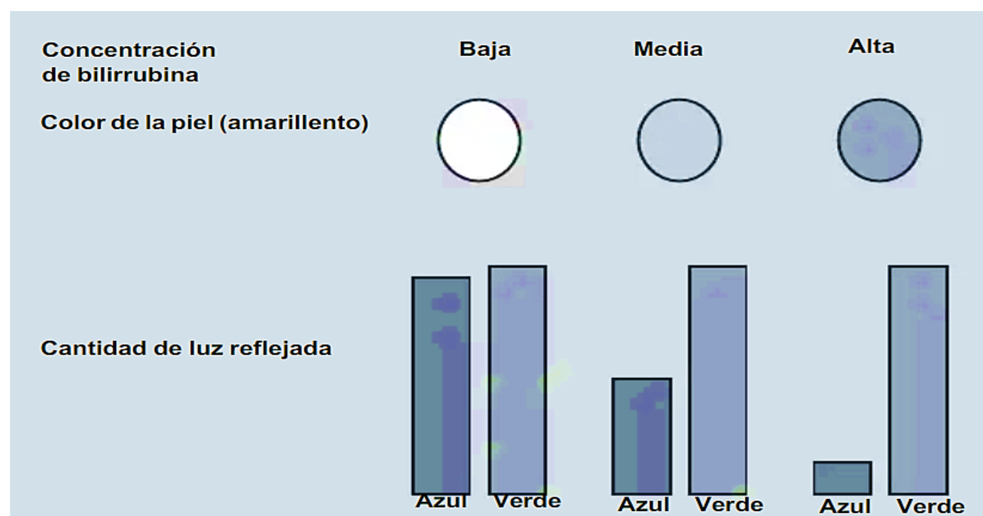
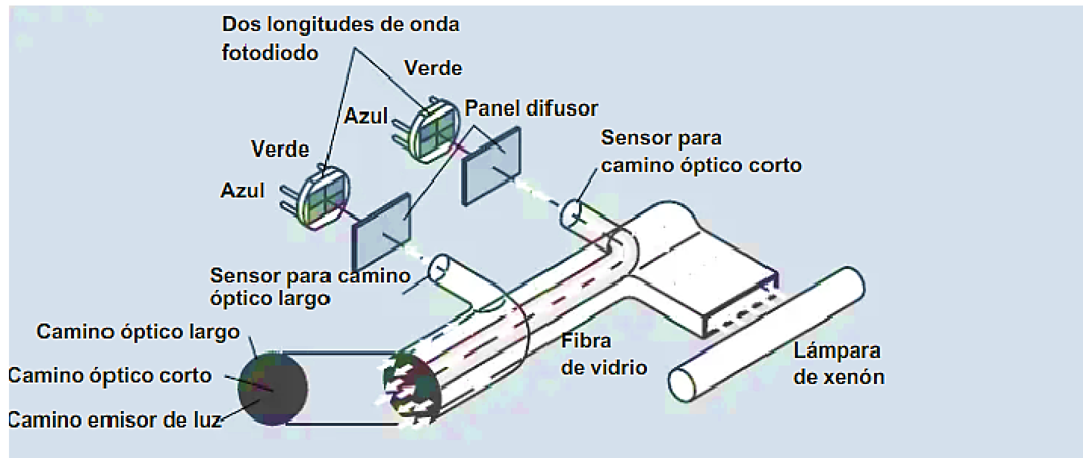


Ilustración conceptual de la medición

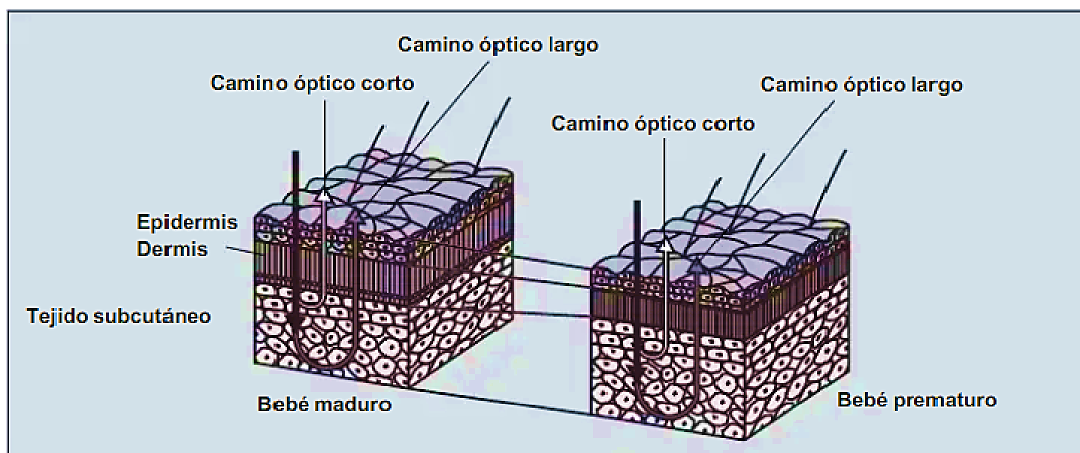
Cuanto mayor sea la concentración de bilirrubina en la piel, menor será la cantidad de luz azul que se refleja, mientras que la luz verde reflejada se mantiene constante independientemente de la densidad de la bilirrubina. La diferencia en la densidad óptica entre la luz azul y verde está directamente relacionada con la concentración de bilirrubina total en el suero. Esta diferencia se convierte en una estimación de la concentración de bilirrubina, que luego se muestra digitalmente en el dispositivo.



La sonda de medición está equipada con dos caminos ópticos, lo que permite evaluar el color amarillento de la piel y el tejido subcutáneo sin que influyan el pigmento de melanina o la madurez de la piel. La luz que regresa a la fibra se divide en dos componentes: una parte dispersada en el tejido subcutáneo superficial atraviesa el camino óptico corto, mientras que la luz dispersada en el tejido subcutáneo profundo sigue el camino óptico largo.



Ambas partes llegan al fotodiodo, y al calcular la diferencia en las densidades ópticas, se eliminan las contribuciones de la epidermis y la dermis. De este modo, la diferencia en las densidades ópticas entre las dos longitudes de onda refleja únicamente la concentración de bilirrubina en el tejido subcutáneo.



El Bilirrubinómetro ha transformado la atención neonatal al reducir significativamente la necesidad de extracciones de sangre en recién nacidos, facilitando el diagnóstico temprano de la ictericia y permitiendo intervenciones más oportunas. Esto ha mejorado la experiencia tanto para los bebés como para sus padres, minimizando el estrés asociado a los procedimientos invasivos. Los modelos actuales presentan mayor precisión y facilidad de uso, aunque persisten desafíos como la precisión en diferentes tonos de piel y la estandarización entre dispositivos. A futuro, se espera la incorporación de inteligencia artificial y tecnologías de monitoreo continuo para optimizar su aplicación, especialmente en entornos con recursos limitados.

Bibliografía:

Amin, S. B., & Lamola, A. A. (2011). Transcutaneous bilirubinometry in the assessment of neonatal hyperbilirubinemia. Seminars in Perinatology, 35(3), 134-140. https://doi.org/10.1053/j.semperi.2011.02.003

Maisels, M. J., & Bhutani, V. K. (2006). Bilirubin Measurement in the Neonate: A Historical Perspective. Clinics in Perinatology, 33(2), 233-252. https://doi.org/10.1016/j.clp.2005.12.010

Mishra, S., & Agarwal, R. (2008). Non-invasive bilirubin measurement using transcutaneous bilirubinometer: Indian experience. Journal of Perinatology, 28(6), 425-429. https://doi.org/10.1038/jp.2008.27

Yamanouchi, I., Yamauchi, Y., & Igarashi, I. (1980). Transcutaneous Bilirubinometry: Preliminary Studies on Non-invasive Bilirubinometer. Pediatrics, 65(2), 195-202. https://doi.org/10.1542/peds.65.2.195

Natus Medical Incorporated. (2023). Natus Jaundice Meter: Revolutionizing Neonatal Care with LED Technology. Retrieved from https://www.natus.com/neonatal_jaundice_monitor

Woodgate, P., & Jardine, L. A. (2011). Neonatal jaundice: Bilirubin toxicity and its management. BMJ Clinical Evidence. https://doi.org/10.1136/clin-evid-2011-0406





Xavier Pardell